

RIJKSINSTITUUT VOOR VISSERIJONDERZOEK

Haringkade 1 - Postbus 68 - 1970 AB IJmuiden - Tel.: +31 2550 64646

Afdeling: Milieu-Onderzoek

Rapport: MO 90 - 01

Bioaccumulatie van kwik in zoetwater-
vis II: Vergelijking van het IJsselmeer,
het Ketelmeer en het Markermeer

Auteur(s): H. Pieters

Project: 20.020 - Kwikonderzoek

Projectleider: Drs H. Pieters

Datum van verschijnen: december 1990

***DIT RAPPORT MAG NIET GECITEERD WORDEN ZONDER TOESTEMMING VAN DE
DIREKTEUR VAN HET R.I.V.O.***

Inhoud

Samenvatting.....	1
1 Inleiding.....	3
2 Materialen en methoden	4
3 Resultaten	5
3.1 invloed van groei, voedingsgedrag en migratie.....	5
3.2 bioaccumulatie van totaalkwik	6
3.3 trendanalyse met behulp van multiële lineaire regressie	8
3.4 verschillen tussen vissoorten	9
4 Discussie	11
4.1 vergelijking oppervlaktewateren	11
4.2 trends in het kwikgehalte.....	12
4.3 invloed van de voedselketen.....	13
4.3.1 vergelijking toppredatoren	13
4.3.2 accumulatie in pos en spiering	13
4.3.3 beschrijving voedselweb.....	14
4.3.4 biomagnificatie van anorganisch kwik en methylkwik.....	15
5 Toekomstig onderzoek.....	15
6 Conclusies.....	16
7 Referenties.....	17

Samenvatting

Een monitoringprogramma betreffende kwikgehalten in snoekbaars en baars afkomstig uit het IJsselmeer vormt een onderdeel van onderzoek naar kwikverontreiniging in zoetwatervis uit Nederlandse oppervlaktewateren, dat op het RIVO sinds 1980 wordt uitgevoerd. Vanaf 1984 wordt daarin mede het Ketelmeer betrokken en vanaf 1987 ook het Markermeer.

Doelstellingen van dit monitoringonderzoek zijn opsporing van mogelijk verhoogde kwikgehalten in voor de consument van belang zijnde vissoorten en het door jaarlijkse metingen van het kwikgehalte in vis kunnen waarnemen van veranderingen (trends) in de gemiddelde kwiknivo's.

Een vergelijking van de bioaccumulatie van kwik in toppredatoren afkomstig uit IJsselmeer, Ketelmeer en Markermeer is alleen toelaatbaar als rekening gehouden wordt met verschillen in groei en mogelijke migratie tussen de oppervlaktewateren. Met de aanwezige datasets voor kwik in snoekbaars en baars zijn dan ook groeiverschillen tussen de drie meren berekend en omschreven.

Snoekbaars in het Markermeer groeit het snelst, gemiddeld 0.56 kg/jaar, gevolgd door het IJsselmeer (0.50 kg/jaar) en het Ketelmeer (0.44 kg/jaar). Afwijkingen in de groei van snoekbaars afkomstig uit het IJsselmeer en Markermeer blijven zowel wat betreft lengte- als gewichtstoename beperkt tot circa 10 % en kunnen in een vergelijkingsonderzoek verwaarloosd worden. In het Ketelmeer is de lengtegroei 30 % lager dan in het IJsselmeer, zodat hiervan enige invloed op de kwikaccumulatie verwacht mag worden.

Snoekbaars migreert meer dan baars, maar de gemiddelde migratieafstanden overschrijden niet de 10 - 20 km. Hieruit kan geconcludeerd worden, dat snoekbaarsen in Ketelmeer en IJsselmeer-Noord met redelijke waarschijnlijkheid tot verschillende populaties behoren. De datasets van beide watersystemen zijn dan ook apart behandeld.

De snelheid van kwikaccumulatie in snoekbaars blijkt voor het IJsselmeer, Ketelmeer en Markermeer zeer verschillend te zijn. Snoekbaars uit het IJsselmeer vertoont de hoogste kwik-accumulatiesnelheid, terwijl de jaarlijkse toename van het kwikgehalte in snoekbaars uit beide andere meren geringer is, waarbij het Markermeer de laagste accumulatiesnelheid laat zien (50 % van die van het IJsselmeer).

Het kwikgehalte van snoekbaars neemt lineair toe met de leeftijd. Echter, in het Markermeer en Ketelmeer bleek het kwikgehalte van oudere snoekbaars (> 8 jaar) sneller toe te nemen dan volgens een lineair verband. Dit boven-proportioneel hoge kwikgehalte in oudere snoekbaars kan zijn veroorzaakt door de zeer hoge retentie van methyalkwik in het visweefsel, dat meer dan 90 % bijdraagt aan het totaalkwik in snoekbaars.

Met de datasets van snoekbaars voor het IJsselmeer en het Ketelmeer, bemonsterd tussen 1981 en 1988 is een multiële lineaire regressie uitgevoerd ten behoeve van een trendanalyse. Het verband tussen het kwikgehalte en de jaarklas is daarmee gecorrigeerd voor de invloed van de biologische parameters. Het resultaat laat slechts geringe dalingen over de periode 1975 tot 1988 zien voor het kwikgehalte van snoekbaars uit beide watersystemen. Deze daling is voor het Ketelmeer iets groter dan voor het IJsselmeer, hetgeen overeenkomt met de dalende trend voor

het kwikgehalte in het Ketelmeersediment in deze periode, terwijl een daling afwezig was in het IJsselmeersediment.

Terwijl de lagere accumulatiesnelheid van kwik in snoekbaars voor het Markermeer ten opzichte van het IJsselmeer goed overeenkomt met het zeer veel lagere kwikgehalte in de waterbodem van dit oppervlaktewater, blijkt de invloed van de hoge contaminatiegraad van de waterbodem van het Ketelmeer een tegengesteld effect te geven met een juist lagere accumulatie dan in het IJsselmeer. Deze tegenstrijdigheid kan worden verklaard door naast de contaminatiegraad van de waterbodem ook de hydrologische kenmerken, zoals de verblijftijd en de ratio volume/bodemoppervlak als belangrijke factoren bij de kwikaccumulatie te onderkennen. Optredende verschillen tussen oppervlaktewateren kunnen dus alleen worden verklaard, indien deze factoren in hun samenhang worden beschouwd.

In pos en spiering uit de drie oppervlaktewateren blijkt ook verschil in kwikaccumulatie op te treden, waarbij dezelfde relatieve verschillen als voor snoekbaars zijn geconstateerd, namelijk afnemende accumulatiesnelheden in de volgorde van IJsselmeer, Ketelmeer en Markermeer. Er bestaat dus een duidelijk verband tussen het kwikgehalte in de prooivissen pos en spiering en de gevonden gehalten in de predator snoekbaars. De gehalveerde accumulatiesnelheid in snoekbaars van het Markermeer ten opzichte van het IJsselmeer kan voldoende verklaard worden door de eveneens meer dan gehalveerde kwikaccumulatie in pos en spiering uit dit meer. Voedselketeneffekten vormen dus eveneens een belangrijke factor in het tot stand komen van het kwikgehalte in toppredatorvissen.

In de discussie wordt nader ingegaan op het grote verschil in gedrag tussen anorganisch kwik en methylkwik en de mate van biomagnifikatie in de voedselketen van beide species.

1 Inleiding

Een monitoring-programma betreffende kwikgehalten in snoekbaars en baars afkomstig uit het IJsselmeer vormt een onderdeel van onderzoek naar kwikverontreiniging in zoetwatervis uit Nederlandse oppervlaktewateren, dat op het RIVO sinds 1980 wordt uitgevoerd. Vanaf 1984 wordt daarin mede het Ketelmeer betrokken en vanaf 1987 ook het Markermeer.

Dit monitoringonderzoek heeft een tweeledig doel. Ten eerste worden metingen van het kwikgehalte in zoetwatervis verricht ter opsporing van verhoogde gehalten in voor de consument van belang zijnde vissoorten. Ten tweede kunnen door jaarlijkse metingen van het kwikgehalte in vis al of niet veranderingen (trends) in de gemiddelde kwiknivo's waargenomen worden, als gevolg van veranderingen in de contaminatie van grensoverschrijdende rivieren (Rijn, Maas) en van mogelijke veranderingen in overheersende sedimentatiepatronen, al of niet reeds in het verleden geëffektueerd. Zo heeft de daling in de kwikafvoer van de Rijn na 1978 in de 80er jaren nauwelijks tot een verlaging van het kwikgehalte van 3 en 4 jarige snoekbaars afkomstig uit het IJsselmeer geleid (1,2). Vergelijking van de kwikaccumulatie in snoekbaars van het IJsselmeer met die in verschillende andere oppervlaktewateren kan meer inzicht geven in de processen en oorzaken, die leiden tot verhoogde kwikconcentraties in vis (3).

Vergelijking van de bioaccumulatie van kwik in toppredatoren afkomstig uit verschillende oppervlaktewateren is alleen toelaatbaar als ook rekening gehouden wordt met verschillen in groei en mogelijke migratie tussen de oppervlaktewateren. Met de aanwezige datasets voor kwik in snoekbaars en baars zijn dan ook mede groeiverschillen tussen IJsselmeer, Ketelmeer en Markermeer beschreven.

Onderzoek aan verschillende vissoorten uit hetzelfde watersysteem kan meer inzicht geven omtrent de invloed van de voedselketen op het bioaccumulatiegedrag van kwik. In het hier beschreven onderzoek zijn de accumulatiepatronen van totaal kwik in baars, snoekbaars, pos en spiering met elkaar vergeleken.

2 Materialen en methoden

Bij het verzamelen van de vele vismonsters is veel hulp verkregen van de afdeling Kust- en Binnenvisserij van het Rijksinstituut voor Visserijonderzoek. Deze afdeling heeft tevens de leeftijdsbepalingen van baars en snoekbaars uitgevoerd door middel van otoliet-aflezingen. ?

Snoekbaars en baars werden individueel op kwik geanalyseerd. Van de vissen werden de lengte, de leeftijd en het gewicht bepaald. De monstergegevens staan vermeld in tabel I. Per monster werd 0.9 g homogenaat bij hoge druk en temperatuur (150 °C) gedurende 4 uur gedestruëerd in "Uniseal" destructie vaatjes in aanwezigheid van salpeterzuur. De bepaling werd in duplo uitgevoerd. Na destructie en afkoelen van de destructievaatjes werd de inhoud kwantitatief overgespoeld naar een maatkolf van 25 ml en aangevuld met bidest. Voor de analyse werd 1 - 5 ml hiervan in het analysevat gebracht, waarna met behulp van tin(II)-chloride het aanwezige kwik werd gereduceerd. Het vrijgekomen kwik werd geanalyseerd door middel van vlamloze atoomabsorptie met behulp van een LDC/Milton Roy Mercury Monitor. Tijdens de reductie met tin (II) chloride werd niet geroerd. De detectiegrens, berekend als drie maal de ruis, bedroeg 0.25 ng Hg. Uitgaande van 1 gram gehomogeniseerd visweefsel was het laagst detecteerbare gehalte 1 µg/kg.

Multipiele regressie analyses zijn uitgevoerd met behulp van het statistisch rekenpakket GLIM.

3 Resultaten

3.1 Invloed van groei, voedingsgedrag en migratie

De belasting met kwik van de drie oppervlaktewateren Markermeer, IJsselmeer en Ketelmeer neemt toe in genoemde volgorde (3). Voor een vergelijkende beschrijving van de kwikaccumulatie in snoekbaars uit deze oppervlaktewateren is kennis over bestaande groeiverschillen van snoekbaars uit deze meren onontbeerlijk. Tevens is van belang in hoeverre sprake is van het voorkomen van gescheiden populaties snoekbaars in het watersysteem Ketelmeer-IJsselmeer.

Gegevens uit de snoekbaarsbemonsteringen in 1984 t/m 1987 voor IJsselmeer en Ketelmeer zijn samengevoegd ter analyse van de relaties tussen de leeftijd, lengte en het gewicht. Voor het Markermeer zijn de gegevens van 1987 gebruikt voor de vergelijking met de groei in de andere twee meren.

Voor een globale vergelijking van de jaarlijkse gewichtstoename van snoekbaars uit de drie meren is bij benadering uitgegaan van een lineaire relatie tussen gewicht en de leeftijd (figuren 1 - 3). Bij toenemende leeftijd neemt de spreiding sterk toe, veroorzaakt door het verschil in snel en langzaam groeiende vissen. Snoekbaars in het Markermeer groeit het snelst, gemiddeld 0.56 kg/jaar, gevolgd door het IJsselmeer (0.50 kg/jaar) en het Ketelmeer (0.44 kg/jaar). De jaarlijkse gewichtstoename in het Markermeer ligt daarmee circa 25 % hoger dan in het Ketelmeer. Het verschil in de groei van snoekbaars tussen Markermeer en IJsselmeer bedraagt ongeveer 12 %, hetgeen gezien de spreiding in de gegevens niet significant is.

De lengtegroei neemt drastisch af met toenemende leeftijd (zie de figuren 4 - 6). De groei gedurende de eerste 3 jaar is bij benadering door lineaire regressie berekend en als gemiddelde jaarlijkse lengtetoeename weergegeven in tabel 2.

Door het ontbreken van gegevens voor 1 jarige snoekbaars uit het Ketelmeer is de lengtegroei voor dit water minder nauwkeurig aan te geven. De gegevens in tabel 2 laten voor het Ketelmeer een 30 % lagere groeisnelheid zien in de eerste 3 levensjaren in vergelijking met het IJsselmeer. De lengtegroei van snoekbaars is in het Markermeer zo'n 10 % hoger dan in het IJsselmeer.

Afwijkingen in de groei van snoekbaars afkomstig uit het IJsselmeer en Markermeer blijven zowel wat betreft lengte- als gewichtstoename beperkt tot circa 10 %. In een vergelijkingsonderzoek behoeft daardoor ten aanzien van de bio-accumulatie van kwik in snoekbaars geen correctie te worden toegepast.

De significant lagere groei in het Ketelmeer kan echter wel invloed hebben op de bioaccumulatie van kwik in snoekbaars.

Jonge 0 - jarige snoekbaars begint zich te voeden met zoöplankton (Copepoden) en gaat na enkele weken over op insectenlarven en grotere invertebraten (4). De overgang naar vis als voedsel vindt plaats bij een lengte tussen 5 en 10 cm, afhankelijk van het relatief beschikbaar zijn van plankton en prooivis. Het belangrijkste voedselorganisme in deze overgangsfase is *Neomysces*, daarna wordt door snoekbaars in het IJsselmeer voornamelijk op spiering geograasd. Bij grotere

snoekbaars boven 50 cm lengte verandert het voedingsgedrag en wordt de variatie van prooidieren groter. Ook pos en jonge cypriniden (blankvoorn) gaan dan als voedsel dienen. Alhoewel bij snoekbaars voor bepaalde prooidieren enigermate een voorkeur bestaat, is de beschikbaarheid van prooidieren voor het voedselgedrag van groter belang. Dit betekent voor IJsselmeer en Ketelmeer dat spiering een belangrijk onderdeel van het voedselpakket van snoekbaars zal uitmaken.

De lengte van prooivis is vrijwel nooit groter dan de helft van de lengte van de predatorvis en meestal veel kleiner. Voor snoekbaars tussen 11 en 70 cm bedraagt de gemiddelde prooilengte 6 - 12 cm (zie tabel 3, ref 5). In het eerste levensjaar daalt de dagelijks gegeten hoeveelheid prooivis van 20 % voor vislarven tot minder dan 10 % van het lichaamsgewicht voor snoekbaars tot circa 15 cm lengte. Meerjarige snoekbaars eet in het groeiseizoen circa 3 % van het eigen lichaamsgewicht per dag (6).

Het dagelijkse rantsoen aan prooivis voor volwassen snoekbaars bedraagt 3 - 7 % van zijn lichaamsgewicht. De jaarlijkse consumptie van Nederlandse snoekbaars is geschat op ongeveer 2.5 - 3 x het eigen gewicht (7).

De voedselconversie is binnen het normale temperatuursbereik onafhankelijk van de temperatuur, maar neemt af met toenemende leeftijd van de snoekbaars. Onder optimale voedingsomstandigheden is de voedselconversiefactor voor volwassen snoekbaars ongeveer 6. Dit betekent, dat voor elke gram gewichtstoename 6 g prooivis geconsumeerd moet worden. Voor eenjarige snoekbaars bedraagt de voedselconversiefactor bij overmaat aan voedsel circa 4 (6).

In het algemeen bewegen snoekbaarzen zich niet over grote afstanden. Dit beperkt migratiegedrag kan zelfs leiden tot verschillende populaties binnen hetzelfde meer. Snoekbaars migreert meer dan baars, maar de gemiddelde migratie afstanden overschrijden niet de 10 - 20 km (4,6). hieruit kan geconcludeerd worden, dat snoekbaarsen in Ketelmeer en IJsselmeer-Noord met redelijke waarschijnlijkheid tot verschillende populaties behoren. De datasets van beide watersystemen kunnen dan ook apart behandeld worden.

3.2 bioaccumulatie van totaalkwik

Met de groei van snoekbaars en baars stijgt mede het totaalkwikgehalte in de weefsels van beide toppredatoren. Positieve correlaties tussen het kwikgehalte in het vlees en de lengte, leeftijd en het gewicht zijn beschreven (1). Van de relaties tussen kwik en de biologische parameters is alleen de relatie met de leeftijd lineair gecorreleerd met het kwikgehalte (8). Het ligt dus voor de hand dat in studies waarin variaties in kwikaccumulatie in plaats en tijd worden bestudeerd, hiervoor deze lineaire relatie als vergelijkingsmaatstaf te gebruiken.

In tabel 4 zijn de regressieparameters gegeven voor de relaties tussen het kwikgehalte en de leeftijd van snoekbaars afkomstig uit het IJsselmeer, Ketelmeer en Markermeer, bemonsterd in

verschillende jaren. De correlatie tussen beide variabelen is goed met R^2 waarden meestal boven 0.80.

Uit vergelijking van de richtingscoëfficiënten (a) blijkt, dat snoekbaars uit het IJsselmeer de hoogste kwikaccumulatiesnelheid vertoont. De jaarlijkse toename van het kwikgehalte van snoekbaars in beide andere meren is geringer, waarbij het Markermeer de laagste accumulatiesnelheid laat zien.

De waarde voor de y-as afsnede is in de meeste gevallen positief en groter dan het kwikgehalte in eieren van snoekbaars (circa 0.06 mg/kg). In het eerste jaar is de kwikaccumulatie in jonge snoekbaars blijkbaar sneller dan in de jaren daarna. Verder blijkt uit de data voor snoekbaars uit het Ketelmeer (hogere waarde y-as afsnede), dat de kwikaccumulatie voor 0-jarige vis in dat oppervlaktewater groter is dan in de andere oppervlaktewateren.

In figuur 7 zijn curven getekend voor de relatie van het kwikgehalte en de leeftijd van snoekbaars in de drie meren. Uit deze figuur zijn duidelijk de verschillen in accumulatie-patronen tussen de drie meren af te lezen.

Voor het Markermeer is in tabel 4 een afwijkende leeftijdsrange gebruikt, namelijk 0 - 8 jaar. Inclusief de oudere snoekbaars bleek de relatie van het kwikgehalte met de leeftijd niet lineair te zijn, doch kunnen twee fasen worden onderscheiden (fig. 8). Bij oudere snoekbaars nam het kwikgehalte met toenemende leeftijd sterker toe dan volgens de lineaire relatie voor jongere snoekbaars.

Voor het Ketelmeer bleek eenzelfde verschijnsel zich te hebben voorgedaan in de periode 87 - 88, zij het minder uitgesproken dan voor het Markermeer. In figuur 9 is alleen een regressielijn ingetekend voor de leeftijdsrange tot 8 jaar. Ook hieruit blijkt, dat oude snoekbaarsen sneller kwik hebben geaccumuleerd.

In de periode 1984 tot 1986 was de kwikaccumulatiesnelheid voor jongere snoekbaars uit het Ketelmeer gelijk aan die van oudere vissen (figuren 10 en 11), doch het nivo lag hoger dan in de periode 87 - 88 (respektievelijk 0,089 mg Hg per kg vis per jaar en 0.027 mg kwik per kg vis per jaar). De in tabel 4 opgegeven waarde voor de accumulatiesnelheid van kwik (parameter a) voor de periode 87 - 88 van 0.077 mg/kg/jaar geldt voor de totale populatie snoekbaars.

Na 1986 is de snelheid waarmee jongere snoekbaars kwik accumuleren in het Ketelmeer afgenomen. Door de snelle kwikaccumulatie in het eerste levensjaar is het effect op het kwikgehalte van 3 tot 6 jaar oude snoekbaars echter minder dan bovenstaande gegevens suggereren.

Voor het IJsselmeer is geen vermindering van de accumulatiesnelheid van kwik in jongere snoekbaars gevonden, zoals blijkt uit figuur 12 en Tabel 4.

De accumulatiecurven voor baars zijn door de beperkte leeftijd-range van de monsters moeilijker te interpreteren. Vergelijking door middel van de accumulatiesnelheden (toename per jaar) is minder relevant door de lage R^2 waarden van de regressielijnen. Daarom is volstaan met de gemiddelde waarden van de kwikgehalten voor 3 leeftijden van de gevangen baars te vergelijken (tabel 5). Tussen IJsselmeer en Ketelmeer is dan geen verschil te constateren in de snelheid van kwikaccumulatie in baars. Gemiddelde gehalten liggen voor baars met een leeftijd tussen 4 en 6 jaar op eenzelfde niveau. In het Markermeer daarentegen is sprake van een ruim 50 % lagere jaarlijkse toename van het kwikgehalte.

In het waterwinbekken van het PWN in Andijk blijkt de kwikaccumulatie in baars gelijk te zijn aan die in het IJsselmeer. De groei van baars in dit waterbekken ligt op een iets hoger niveau dan in het IJsselmeer, zodat de werkelijke kwikopname ook iets hoger zou kunnen liggen om een gelijke jaarlijkse toename van de kwikconcentratie te verkrijgen. Er vanuit gaande dat de oudere baars reeds langere tijd in dit bekken aanwezig is, kan geconcludeerd worden dat de kwikaccumulatie geheel berust op het reeds aanwezige kwik in het ingelaten water inclusief het aanwezige voedsel. Dit betreft dan het kwik gebonden aan de zwevende stof, aanwezig in de prooivis en opgelost kwik. In het waterwinbekken is geen sediment aanwezig. Kwik kan dus alleen worden opgenomen via het water en via het voedsel van de baars. Onderscheid tussen kwikopname via de kieuwen of via het voedsel is op grond van deze gegevens niet mogelijk.

3.3 trendanalyse met behulp van multi-pele lineaire regressie

Voor de uitvoering van een trendanalyse van het kwikgehalte in snoekbaars zal het kwikgehalte genormeerd moeten worden ten aanzien van de biologische parameters. In een voorgaande studie (1) is het kwikgehalte voor een standaard snoekbaars van bekende leeftijd inclusief de berekende betrouwbaarheids-intervallen uitgezet tegen de tijd. Op die wijze wordt uitgegaan van een gemiddeld kwikgehalte in snoekbaars van dezelfde leeftijd, maar gevangen op verschillende tijdstippen. Hierbij wordt echter voorbijgegaan aan de invloed van de variatie in groei op het kwikgehalte in vissen van dezelfde leeftijd, waardoor de variantie in de resultaten van berekende accumulatie van kwik sterk kan toenemen. Om conclusies beter te kunnen onderbouwen is een multi-pele lineaire regressie uitgevoerd met de volledige datasets voor snoekbaars, bemonsterd tussen 1981 en 1988, voor beide watersystemen

Multi-pele lineaire regressie.

Voor de uitvoering van een lineair regressie model is de gemeten waarde van het kwikgehalte als y - waarde genomen met als afhankelijke variabelen: de lengte, de leeftijd, het gewicht, het vangstjaar en de jaarklas.

Model:

$$Y(Hg) = a.L + b.LE + c.GE + d.JA + e.JK + f$$

L	= lengte
LE	= leeftijd
GE	= gewicht
JA	= vangstjaar
JK	= jaarklas

De statistische berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van het statistisch pakket GLIM. De eerste 3 variabelen van het model (lengte, leeftijd en gewicht) verklaren reeds ongeveer 80 % van de totale variatie (de totaalsom van de afwijkingen t.o.v. het model) van het kwikgehalte in snoekbaars.

Indien de jaarklas en het vangstjaar aan het model worden toegevoegd, stijgt het % verklaring slechts gering (zie tabel 6), waaruit geconcludeerd kan worden, dat de invloed van deze variabelen op het kwikgehalte in snoekbaars afkomstig uit IJsselmeer en Ketelmeer klein zal zijn. Voordat de feitelijke regressieanalyse werd uitgevoerd, is nagegaan of aan de eis van normaliteit was voldaan. Dit bleek inderdaad het geval, alsmede het ontbreken van een trend in de residuen.

De relatie van het kwikgehalte en de jaarklas van snoekbaars, gecorrigeerd voor de invloeden van lengte, leeftijd en gewicht, zou eventuele veranderingen van het kwikgehalte in de tijd zichtbaar moeten maken. Figuren 13 en 14 laten dergelijke relaties zien voor snoekbaars uit respectievelijk het IJsselmeer en Ketelmeer in de periode '70 - '87.

Uit de aanzienlijke spreiding in de gecorrigeerde waarden van het kwikgehalte (R_1 = kwikgehalte minus de gefitte waarden), veroorzaakt door andere invloeden dan de lengte, leeftijd en gewicht, en de nauwelijks van nul afwijkende richtingscoëfficiënt van de berekende lineaire regressielijn kan geconcludeerd worden, dat veranderingen in de tijd minimaal zijn. De toch te signaleren geringe daling van het kwikgehalte is voor het Ketelmeer groter (3x) dan voor het IJsselmeer, gelet op de richtingscoëfficiënten (zie tabel 7).

Voor baars uit het IJsselmeer is eenzelfde analyse uitgevoerd (tabel 7, fig 15).

Wordt het verband tussen residuen (= kwikgehalte gecorrigeerd voor biologische parameters) en jaarklas alleen voor de periode '70 - '81 nader beschouwd (figuren 16 en 17) dan bedraagt de jaarlijkse gemiddelde afname van het kwikgehalte in snoekbaars voor respectievelijk het Ketelmeer en IJsselmeer 0.013 en 0.0018 mg/kg op produktbasis. In deze periode daalde het kwikgehalte van snoekbaars in het Ketelmeer dus sterker dan in het IJsselmeer (6 x). De significantie ten aanzien van de lineaire relatie is in tabel 7 weergegeven.

3.4 verschillen tussen vissoorten

Een indruk over de grootte van de variatie in kwikgehalte binnen één leeftijdsklasse of één lengteklasse voor baars en snoekbaars kan verkregen worden aan de hand van de R^2 waarden van de relaties tussen kwikgehalte en lengte en leeftijd.

In tabel 8 staan deze waarden voor snoekbaars en baars weergegeven voor verschillende monsterjaren. Hoe groter de R^2 waarde, hoe beter de fit voor de betreffende relatie is en hoe kleiner de variatie per parameterklasse. Voor baars is de R^2 waarde consequent veel lager dan voor snoekbaars. De variatie in kwikgehalte voor baars per leeftijdsklasse is dus groter dan voor snoekbaars afkomstig uit hetzelfde oppervlaktewater.

Voor een aantal vergelijkbare leeftijdsklassen zijn voor baars en snoekbaars het gemiddelde kwikgehalte en de standaarddeviatie berekend. Uit deze vergelijking blijkt het kwikgehalte in baars inderdaad een significant grotere variatie te bezitten (tabel 9). Een ander verschil tussen vissoorten komt aan het licht als de accumulatiepatronen worden vergeleken. Voor baars en snoekbaars zijn de data respectievelijk over de perioden 84-88 en 81-88 tezamen uitgezet in curven van het

kwikgehalte tegen de leeftijd (figuren 18 en 19). Baars ouder dan 3 jaar heeft een lagere accumulatiesnelheid voor kwik dan snoekbaars van dezelfde leeftijd (respektievelijk 0.085 en 0.119 mg/kg/jaar). In tegenstelling hiermee blijkt uit de grotere y-as afsnede, dat jonge baarsen juist een hogere accumulatiesnelheid dan overeenkomstige snoekbaarsen laten zien.

4 Discussie

4.1 vergelijking oppervlaktewateren

De snelheid van kwikaccumulatie in snoekbaars in het IJsselmeer is tweemaal zo hoog als in het Markermeer. Voor het Ketelmeer is een jaarlijkse kwikaccumulatie gevonden, die tussen die van het IJsselmeer en het Markermeer inligt. De waterbodemcontaminatie in het Markermeer is zeer veel lager dan in het IJsselmeer (zie figuur 20). Hiermee is de lagere kwikaccumulatie in snoekbaars in dit oppervlaktewater goed te verklaren. Dus niet alleen de aanvoer van kwik, maar vooral ook de opname van kwik uit de waterbodem speelt een grote rol bij de bioaccumulatie in snoekbaars.

Uit dezelfde figuur blijkt echter de veel hogere kwikbelasting van de waterbodem in het Ketelmeer ten opzichte van de IJsselmeerwaterbodem niet tot een hogere kwikaccumulatie in de vis te leiden. Blijkbaar spelen nog andere factoren mee die de mate van kwikaccumulatie in vis bepalen. De beschikbare kwikconcentratie in de waterfase wordt blijkbaar niet alleen bepaald door de verontreiniging van de bodem: de verhoogde contaminatie met kwik in de waterbodem van het Ketelmeer ten opzichte van het IJsselmeer (zie ook figuur 20) leidt niet tot proportioneel verhoogde accumulatie-nivo's in snoekbaars. Een verklaring kan zijn (3) een sterke verdunning als gevolg van instromend, weinig belast IJssel-water, tezamen met een korte verblijftijd in het Ketelmeer, waardoor het kwikgehalte in de waterfase betrekkelijk laag blijft. In het IJsselmeer daarentegen veroorzaakt een langere verblijftijd waarschijnlijk hogere concentraties in de waterfase, die weer tot hogere gehalten in vis leiden. Vroeger, toen het IJsselwater nog sterker verontreinigd was dan het IJsselmeerwater, was het kwikgehalte in jonge predatorvis uit het Ketelmeer gelijk tot iets hoger dan in het IJsselmeer (9). De hydrologische kenmerken van oppervlaktewateren zijn dus mede van grote betekenis voor het uiteindelijke nivo van kwikverontreiniging in zoetwatervis. In het rapport "Bioakkumulatie van kwik in snoekbaars, data analyse voor het IJsselmeer, Ketelmeer en Markermeer" wordt dit aspect uitgebreid beschreven (3).

Het nivo van het kwikgehalte, dat in roofvis kan worden aangetroffen, is dus o.a. afhankelijk van de contaminatiegraad van de waterbodem, de hydrologische kenmerken van het desbetreffende oppervlaktewater en de belasting met kwik. Optredende verschillen tussen oppervlaktewateren kunnen alleen worden verklaard, indien deze factoren in hun samenhang worden beschouwd.

De in figuur 7 getekende accumulatiecurven (de relatie van het kwikgehalte en de leeftijd) geeft duidelijk de verschillen tussen de drie meren weer. Het verschil in accumulatie-nivo tussen het Markermeer en de Fluessen geeft aan, dat de kwikcontaminatie in het Markermeer zeker niet te verwaarlozen is en nog aanzienlijk boven het natuurlijk nivo ligt. De conclusie kan worden getrokken, dat de mate van beschikbaarheid van kwikverbindingen in een oppervlaktewater zich enigermate weerspiegelt in de richtingscoëfficiënt van de curve van het kwikgehalte in spierweefsel en de leeftijd van snoekbaars.

Opvallend is, dat de jaarlijkse toename van het kwikgehalte in het Ketelmeer niet veel verschilt van die in het Markermeer, maar wel op een hoger niveau ligt, veroorzaakt door de veel snellere accumulatie in de eerste levensfase van de snoekbaars in het Ketelmeer. De grotere contaminatie

van de waterbodem van het Ketelmeer veroorzaakt vermoedelijk hogere gehalten in de benthische organismen, die als voedsel dienen voor 0 en 1 jarige roofvis.

Meer algemeen wijzen ook de positieve y-as afsneden in de curven voor de relaties van het kwikgehalte en de leeftijd voor snoekbaars en baars er op, dat de snelheid van kwikaccumulatie in het eerste levensjaar groter is dan in volgende jaren. Ook dit verschijnsel zou kunnen samenhangen met de wijzigingen in het voedselpatroon die in deze periode voor 0 - jarige vis optreedt, namelijk de overgang van benthische organismen en zoöplankton als het belangrijkste voedsel naar prooivis.

4.2 trends in het kwikgehalte

De trendberekening van hoofdstuk 3.3 geeft als resultaat een daling van het kwikgehalte in snoekbaars in het Ketelmeer over de periode 1970 - 1987. Voor snoekbaars in het IJsselmeer is de daling veel geringer. Voor baars in het IJsselmeer daarentegen is de daling groter. De betekenis hiervan is onduidelijk. Het is mogelijk dat de bioaccumulatie bij baars door nog andere, onbekende factoren is beïnvloed. Het verschil in accumulatiepatroon tussen snoekbaars en baars (zie hoofdstuk 3.4) wijst hier ook reeds op.

Over de periode 1970 - 1981 is de afname van het kwikgehalte in snoekbaars uit het Ketelmeer 6 x sneller verlopen dan uit het IJsselmeer. Deze relatief grotere afname van het kwikgehalte in het Ketelmeer is in overeenstemming met de grotere afnemende trends van de water- en waterbodembodemkwaliteit gedurende de periode '70 - '81 (zie figuur 20). In het IJsselmeer is nauwelijks sprake geweest van een afnemende trend in de bodembodemkwaliteit, ondanks de sterk afgenomen aanvoer van kwik door de Rijn (3,10).

Ook in het Wabigoon-English River system, een gebied in Canada, waarin voormalige kwiklozingen tot ernstige waterbodembodemverontreiniging hebben geleid, blijken kwikgehalten in zoetwatervis op een sterk verhoogd nivo gehandhaaft te blijven (11). Continue nalevering van kwik vanuit de waterbodem wordt ook hier als belangrijkste oorzaak gezien.

Na 1986 is de accumulatiesnelheid in jonge snoekbaars uit het Ketelmeer verder gedaald (zie figuur 9 en tabel 4), zichtbaar aan de lagere gemiddelde jaarlijkse toename van het kwikgehalte. Dit kan wijzen op de continue uitspoeling van verontreinigd bodemslib uit het Ketelmeer naar het IJsselmeer, dat langzamerhand zichtbaar wordt in een daling van het kwikgehalte in vis uit het Ketelmeer. In het IJsselmeer is echter geen daling van de kwikaccumulatie in jongere snoekbaars geconstateerd (figuur 12 en tabel 4).

Het boven-proportioneel hoge kwikgehalte in oude snoekbaars kan zijn veroorzaakt door de zeer hoge retentie van methyalkwik in het visweefsel (12). Zelfs in het Markermeer is hierdoor verschil ontstaan in het accumulativenivo tussen jongere en oude snoekbaars (figuur 8). Jonge snoekbaars heeft namelijk, zeker na de afsluiting van het Markermeer in 1976, veel minder onder invloed van het toen nog sterk met kwik belaste Rijnwater gestaan.

4.3 invloed van de voedselketen

4.3.1 vergelijking toppredatoren

Het grotere verschil in variatie van het kwikgehalte in baars ten opzichte van snoekbaars hangt mogelijk samen met verschillen in fysiologische eigenschappen en voedselgedrag. Grotere variaties in groeisnelheid tussen individuele vissen bijvoorbeeld zal door verschil in verdunningseffekten van het opgenomen kwik een grote bijdrage aan de waargenomen variatie in kwikgehalten leveren. Ook verschillen in het voedselpakket van individuele vissen of juist het ontbreken daarvan kunnen grote invloed uitoefenen op de te bereiken kwikgehalten en kwikgehaltevariaties. Ook voor aal wordt een grotere spreiding in het kwikgehalte gevonden dan voor snoekbaars uit het IJsselmeer bij een overigens lagere concentratie in de weefsels (13)

Versillen in het voedselpakket van baars en snoekbaars in de eerste levensfase en verschillen in de groeisnelheid op latere leeftijd kunnen tot een ander accumulatiepatroon van kwikverbindingen leiden, zoals in hoofdstuk 3.4 is beschreven. Variaties in de excretiesnelheid tussen verschillende soorten zullen ook een belangrijke invloed op het kwikgehalte kunnen uitoefenen. Onbekend is of de variaties in groeisnelheid bij baars groter zijn dan bij snoekbaars.

4.3.2 accumulatie in pos en spiering

In opdracht van Rijkswaterstaat DBW/RIZA is in 1988 door het RIVO onderzoek uitgevoerd naar de kwikgehalten in pos en spiering uit het IJsselmeer, Ketelmeer en het Markermeer, belangrijke prooivissen voor snoekbaars (14). In de figuren 21 en 22 zijn de aangetroffen gehalten weergegeven op basis van asvrij drooggewicht. De gemeten kwikgehalten zijn op eenvoudige wijze herleid tot verschillen in bioaccumulatiesnelheid (3). Versillen in de opnamesnelheden van kwik tussen de drie onderzochte meren komen goed overeen met de verschillen, die voor snoekbaars zijn gevonden. Pos en spiering uit het IJsselmeer vertoonden de hoogste accumulatiesnelheid, terwijl in het Markermeer de laagste waarden zijn gevonden, met het Ketelmeer daar tussen in.

Er bestaat dus een duidelijk verband tussen het kwikgehalte in de proovissen pos en spiering en de gevonden gehalten in de predator snoekbaars. De gehalveerde accumulatiesnelheid in snoekbaars in het Markermeer ten opzichte van het IJsselmeer kan voldoende verklaard worden door de eveneens meer dan gehalveerde kwikaccumulatie in pos en spiering uit dit meer (3). Kwikconcentraties in predator- en proovissen uit het IJsselmeer bedroegen respectievelijk 0,30 tot 0,70 mg/kg en 0,10 tot 0,20 mg/kg voor overeenkomstige leeftijdsklassen. Voedselketen-effekten vormen dus eveneens een belangrijke factor in het tot stand komen van het kwikgehalte in toppredatorvissen.

4.3.3 beschrijving voedselweb

In figuur 23 is een vereenvoudigd schema van het voedselweb in Nederlandse oppervlaktewateren weergegeven, waarin de belangrijkste predator-prooi relaties zijn opgenomen. De doelstelling voor het opstellen van dit schema is tweeledig:

1. verschillen in de bioaccumulatie van kwikverbindingen tussen diverse zoetwatervissoorten kunnen wellicht veroorzaakt worden door verschillen in de voedselketens, waar deze vissoorten deel van uitmaken.
2. informatie over het gedrag van kwikspecies in voedselketens kan leiden tot meer inzicht in de effecten van verontreinigde waterbodems op zoetwatervis en dus ook inzicht geven in de effecten van eventuele sanering van deze waterbodems.

De volgende informatie is o.a. gebruikt voor het opstellen van het voedselweb:

In het IJsselmeer behoort spiering tot het hoofdvoedsel van snoekbaars en baars (15). Spiering is ook de belangrijkste consument van zoöplankton. Ook aalscholvers kunnen aanzienlijke hoeveelheden spiering verbruiken. Aal gebruikt als voedsel voornamelijk benthische organismen, kuit en 0 en 1 jarige vis. Zelden graast rode aal op de driehoeksmossel (16). De driehoeksmossel vormt een belangrijk onderdeel van het voedselpakket van brasem en blankvoorn, terwijl ook duikeenden (kuifeend, tafeleend) grote hoeveelheden driehoeksmosselen nuttigen.

Terwijl 0 - jarige vis nog bijna volledig op zoöplankton graast, gaat 1 - jarige vis in de loop van het tweede groeiseizoen reeds over op het consumeren van benthos (17).

We hebben nu de volgende verschillen in het voedselpakket van enkele belangrijke zoetwater-vissen in het IJsselmeer verkregen:

vissoort:	prooidieren:
snoekbaars	grotendeels jonge vis: spiering
rode aal	benthos en 0 - jarige vis
blankvoorn brasem	Dreissena en benthos

Snoekbaars als echte toppredator consumeert voornamelijk jonge vis, bijvoorbeeld spiering in het IJsselmeer. Daar de ratio methyalkwik/anorganisch kwik in vis groter is dan in benthische organismen zou daardoor de kwikconcentratie in deze vissoort hogere nivo's kunnen bereiken dan in benthosconsumeerders als aal en blankvoorn. Methyalkwik heeft namelijk een veel grotere halfwaardetijd voor excretie dan anorganisch kwik(12). Ook is de vraag interessant of op lagere trofische nivo's methyalkwik ook bepalend is voor de bioaccumulatie of dat hier voor anorganische

kwik een grotere rol is weggelegd. Verder is interessant of alleen methyلكwik of ook anorganisch kwik biomagnificatie laat zien.

Onderzoek naar methyلكwikgehalten in voedselketens kan antwoord geven op bovengenoemde vraagstellingen.

4.3.4 biomagnificatie van anorganisch kwik en methyلكwik

Het is bekend (17), dat het totaalkwikgehalte in aquatische organismen op hogere trofische nivo's voor het grootste deel uit methyلكwik bestaat. Op lagere trofische nivo's kan het aandeel van methyلكwik aanmerkelijk lager liggen.

In figuur 24 zijn de berekende gehalten aan methyلكwik en anorganisch kwik voor diverse aquatische organismen op verschillende trofische nivo's op een logaritmische schaal weergegeven. De gegevens zijn afkomstig uit de analyse voor snoekbaars (3). De methyلكwikgehalten zijn berekend uit literatuurwaarden met behulp van gemiddelde percentages methyلكwik voor diverse organismen, zoals gegeven door May (18).

Opmerkelijk is het grote verschil in gedrag tussen beide kwik species. Terwijl het gehalte aan anorganisch kwik in de getoonde voedselketen van snoekbaars een toename met een factor 10 te zien geeft, neemt de methyلكwikconcentratie gaande van zoöplankton naar snoekbaars toe met circa een factor 1000. Een duidelijk voorbeeld van biomagnificatie in de voedselketen. Een en ander wijst op het toenemend belang van het voedselpakket voor de accumulatie van methyلكwik in de hogere trofische nivo's.

Laboratoriumonderzoek aan voedselketens van het mariene milieu in Denemarken (19) heeft sterke aanwijzingen opgeleverd voor biomagnificatie van methyلكwik in botten. Slechts ongeveer 1 % van het totaal aanwezige kwik in verontreinigde gebieden zal in de vorm van methyلكwik voorkomen. Het merendeel van door organismen opgenomen kwik zal zich daarom in de anorganische vorm bevinden. Echter de efficiënte accumulatie van methyلكwik en het ontbreken van eliminatie vanuit het spierweefsel in vergelijking met anorganisch kwik zal resulteren in toenemende methyلكwikgehalten met zowel leeftijd als trofische nivo's (18).

5 Toekomstig onderzoek

Voor een beter begrip in de te bereiken kwikgehalten in zoetwatervis en het inschatten van effecten van sanering van verontreinigde waterbodems, zal onderzoek moeten worden uitgevoerd naar de gehalten aan methyلكwik in de diverse milieucompartimenten. Het is bijvoorbeeld interessant te weten of gevonden verschillen tussen oppervlaktewateren geheel voor rekening komen van verschillen in de vorming van methyلكwik. Anderzijds zouden verschillen in contaminatie van lagere organismen volledig bepaald kunnen zijn door anorganische kwikverbindingen, waarbij de vorming van methyلكwik niet of weinig van belang is. Onderzoek naar het gedrag van methyلكwik in de voedselketens van aquatische organismen kan hierover meer inzicht geven.

6 Conclusies

1. De accumulatiesnelheid van kwik in snoekbaars en baars ligt in het IJsselmeer op een tweemaal zo hoog nivo als in het Markermeer.
2. De accumulatiesnelheid in het Ketelmeer ligt lager dan in het IJsselmeer doch boven die van het Markermeer.
3. De lagere kwikaccumulatie in het Ketelmeer ten opzichte van het IJsselmeer wordt veroorzaakt door de grote verversingsgraad van het water in het Ketelmeer, waardoor het gevormde methyalkwik sterk wordt verdund.
4. Naast de instroom van kwikverbindingen en de vorming van methyalkwik in de waterbodem zijn de hydrologische kenmerken van een oppervlaktewater van grote invloed op de te bereiken kwikgehalten in predatorvissen.
5. In de periode 1970 - 1981 is de afname van het kwikgehalte in snoekbaars uit het Ketelmeer 6 x groter dan de daling in het IJsselmeer. Deze resultaten zijn in overeenstemming met de opgetreden veranderingen in de waterbodemkwaliteit van beide meren.
6. De waargenomen dalingen van het kwikgehalte in snoekbaars en baars zijn echter gering in vergelijking met de drastisch afgenomen aanvoer van kwikverbindingen door de rivier de Rijn in de periode 1975 - 1985.
7. Voedselketeneffekten zijn sterk bepalend voor de te bereiken kwikgehalten in aquatische organismen. Voedingsgedrag en plaats in het voedselweb bepalen niet alleen verschillen in accumulatiepatronen tussen vissoorten, maar zijn ook oorzaak van soms aanzienlijke individuele variaties in het kwikgehalte binnen één soort.

7 Referenties

1. H. Pieters, J. Speur en C. Taai (1988), Bioaccumulatie van kwik in zoetwatervis. I Trends in snoekbaars en baars uit het IJsselmeer. RIVO rapport MO 88 - 04
2. H. Pieters (1989), Time trends of mercury in pike-perch (*Stizostedion lucio-perca*), perch (*Perca fluviatilis*) and eel (*Anguilla anguilla*) from Lake IJssel. Proceedings of the Int. Conf. on Heavy Metals in the Environment, Geneva, Sept. 1989, page 362 - 365
3. M.B. de Vries en H. Pieters, Bioakkumulatie van kwik in snoekbaars, data-analyse voor IJsselmeer, Ketelmeer en Markermeer, Rapport TOW T250, nr 89 - 01
4. B.B. Collette et al, Biology of the percids. J. Fish. Res. Board Can. 34(1977)1890
5. J. Willemsen, Population dynamics of percids in Lake IJssel and some smaller lakes in the Netherlands. J. Fish. Res. Board Can. 34(1977)1710
6. J. Willemsen, Snoekbaars: biologie, populatieontwikkeling en beheer. In: Rapport Werkgroep Evaluatie Beheersmethoden: Snoek, snoekbaars en brasem, RIVO, S&B, OVB, december 1984, blz. 29 - 63
7. J. Willemsen, Biology and management of pike-perch. Proceedings 3rd Brit. Freshw. Fish Conf., 1983, blz 115 - 125
8. H. Pieters, J. Speur and P.G. Wassenaar-Scholtz (1983), Total mercury contents in fish species from Dutch surface waters in relation to biological parameters and pollution level, ICES report C.M. 1983?E:19
9. J.K. Quirijns (1975), Organochloorverbindingen, kwik, arseen en cadmium in verse consumptievis, mosselen en garnalen, Rapport nr. R 4862, CIVO-TNO.
10. Evaluatierapport kwik in het Nederlandse milieu, CCRX, VROM 1986
11. J.W. Parks (1988), Selected ecosystem relationships in the mercury contaminated Wabigoon-English River system, Canada, and their underlying causes. Water, Air and Soil Pollution 42, 267-279.
12. T. Järvenpää, M. Tillander and J.K. Miettinen (1970), Methylmercury, half-time of elimination in flounder, pike and eel. Suomen Kemistilehti B43, 439
13. H. Pieters, Bioaccumulatie van kwik in zoetwatervis. III Gehalten aan anorganisch kwik en methyلكwik in rode aal uit het Rijnstroomgebied. RIVO rapport, in voorbereiding.
14. H. Pieters, Onderzoek naar het kwikgehalte in pos en spiering afkomstig uit het IJsselmeer, Markermeer en Ketelmeer. Kontraktrapport MO 88-204
15. A.D. Buijse, M.R. van Eerden, W. Dekker, en W.L.T. van Densen. A trophic model for IJsselmeer (The Netherlands), a shallow eutrophic lake. ICES C.M. 1990 / L:71
16. W. Dekker, persoonlijke mededeling, 1990
17. W.G. Cazemir, persoonlijke mededeling, 1990

18. K. May et al (1987), Studies in the ratio total mercury / methylmercury in the aquatic foodchain. *Toxicol. Environm. Chem.* 13, 153
19. H.U. Riisgård and S. Hansen (1990), Biomagnification of mercury in a marine grazing foodchain: algal cells, mussels and flounders studied by means of a stepwise- reduction- CVAA method. *Mar. Ecol. Progr. Series* 62, 259-270

Tabel 1: Monstergegevens voor baars en snoekbaars uit het Ketelmeer, IJsselmeer en Markermeer					
monsternr	datum	vissoort	aantal	jaar	locatie
26	Oct-81	snoekbaars	34	1981	IJsselmeer
1200	Oct-84	baars	64	1984	IJsselmeer
1209	Dec-84	snoekbaars	43	1984	IJsselmeer
1211	Dec-84	snoekbaars	41	1984	Ketelmeer
1212	Dec-84	baars	15	1984	Ketelmeer
1226	Nov-85	snoekbaars	40	1985	IJsselmeer
1227	Nov-85	baars	39	1985	IJsselmeer
1235	Apr-86	snoekbaars	32	1986	Ketelmeer
1236	Mrt-86	baars	41	1986	Ketelmeer
1298	Mei-86	snoekbaars	10	1986	Ketelmeer
1301	Nov-86	snoekbaars	39	1986	IJsselmeer
1306	Nov-87	snoekbaars	21	1987	IJsselmeer
1355	Sep-87	snoekbaars	15	1987	IJsselmeer
1358	Sep-87	snoekbaars	25	1987	Ketelmeer
1361	May-87	snoekbaars	42	1987	IJsselmeer
1362	Mei-87	baars	25	1987	IJsselmeer
1367	Oct-87	snoekbaars	3	1987	Markermeer
1369	Oct-87	snoekbaars	48	1987	Markermeer
1378	Nov-87	snoekbaars	8	1987	IJsselmeer
1379	Nov-87	snoekbaars	8	1987	Markermeer
1388	Jan-88	snoekbaars	9	1988	Markermeer
1389	Jan-88	baars	13	1988	Markermeer
1394	Sep-88	baars	26	1988	Ketelmeer
1396	Feb-88	snoekbaars	27	1988	Markermeer
1397	Feb-88	baars	29	1988	Markermeer
1398	Mrt-88	snoekbaars	2	1988	Markermeer
1399	Nov-88	snoekbaars	31	1988	IJsselmeer
1400	Mar-88	baars	63	1988	IJsselmeer
1401	Mrt-88	baars	24	1988	Ketelmeer
1473	Jun-88	snoekbaars	35	1988	Ketelmeer

Tabel 2: Jaarlijkse gemiddelde lengtetoeename van snoekbaars gedurende de eerste drie jaar.

Oppervlaktewater:	Lengtetoeename:
Markermeer	14.9 cm
IJsselmeer	13.6 cm
Ketelmeer	circa 10 cm

Tabel 3: De gemiddelde lengte van prooivis voor snoekbaars en baars uit het IJsselmeer.

Lengte van prooivis in cm							
lengtegroep							
predator:	11-15	16-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70
Predatorvis:							
snoekbaars	5.8	6.3	7.5	8.1	8.5	9.0	9.7
baars	5.1	6.1	6.9	7.4			

Tabel 4: Vergelijking van de bioaccumulatie van kwik in snoekbaars				
Parameters van lineaire regressie: Leeftijd - kwikgehalte				
Jaartal	Parameter	IJSSELMEER	KETELMEER	MARKERMEER
1984	a	0.107	0.089	n.b.
	b	0.184	0.201	n.b.
	R2	0.830	0.830	n.b.
198586	a	0.130	0.089	n.b.
	b	0.169	0.139	n.b.
	R2	0.770	0.860	n.b.
198788	a	0.129	0.077	0.061
	b	0.022	0.170	0.054
	R2	0.950	0.490	0.780

Tabel 5: Gemiddelde kwikgehalten in baars van 1988									
Leeftijd	4 jaar			5 jaar			6 jaar		
Locatie	n	Hg gehalte	SD	n	Hg gehalte	SD	n	Hg gehalte	SD
IJsselmeer	21	0.66	0.12	29	0.72	0.07	5	0.89	0.07
Ketelmeer	5	0.66	0.04	8	0.66	0.08	7	0.88	0.1
Markermeer	2	0.25		8	0.32	0.04	21	0.41	0.07
WRK3-Andijk							7	0.96	0.11

Tabel 6: Resultaten multiële regressie analyse: percentage variatie-verklaring van het kwikgehalte

Variabelen:	% variatie-verklaring:	
	IJsselmeer-SB	Ketelmeer-SB
lengte, leeftijd en gewicht	82	77
lengte, leeftijd, gewicht en vangstjaar en jaarklas	83	78

Tabel 7: Regressie parameters voor de relatie tussen de gecorrigeerde kwikwaarde en de jaarklas

tijdsperiode watersysteem	a	R	signifikantie van de relatie
Snoekbaars			
1970 - 1987			
IJsselmeer	- 0.0027	0.08	n.s.
Ketelmeer	- 0.0091	0.27	p < 0.005
1970 - 1981			
IJsselmeer	- 0.0018	0.03	n.s.
Ketelmeer	- 0.0129	0.26	p < 0.05
Baars			
1975 - 1985			
IJsselmeer	- 0.024	0.34	p < 0.005

n.s. = niet significant

Tabel 8: R2 waarden voor de relaties van het kwikgehalte met lengte en leeftijd			
IJsselmeer			
JAAR	RELATIE	BAARS	SNOEKBAARS
1984	leeftijd	0.58	0.83
1985	leeftijd	0.48	0.77
1987	leeftijd	0.6	0.86
1987	lengte	0.43	0.87
1988	leeftijd	0.11	0.91
1988	lengte	0.12	0.74
Ketelmeer			
1988	leeftijd	0.65	0.92
1988	lengte	0.67	0.71
Markermeer			
1988	leeftijd	0.26	0.97
1988	lengte	0.61	0.85

Tabel 9: Gemiddelde kwikgehalten en standaarddeviatie in snoekbaars en baars afkomstig uit het IJsselmeer							
jaar	leeftijdsklasse	snoekbaars			baars		
		Hg gehalte	S.D.	aantal	Hg gehalte	S.D.	aantal
1984	3	0.48	0.035	20	0.61	0.075	38
	4	0.71	0.060	3	0.72	0.070	12
	5				0.76	0.110	12
1987	3	0.39	0.035	31			
	5				0.76	0.090	7
	6				0.91	0.070	16

Fig. 1: Relatie van het gewicht en de leeftijd
voor snoekbaars uit het Ketelmeer (84 - 87)

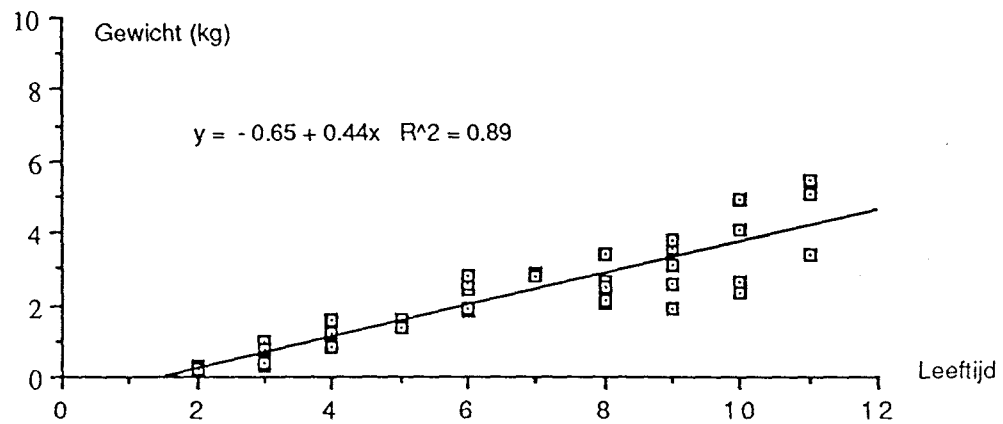


Fig. 2: Relatie van het gewicht en de leeftijd
voor snoekbaars uit het IJsselmeer (84 - 87)

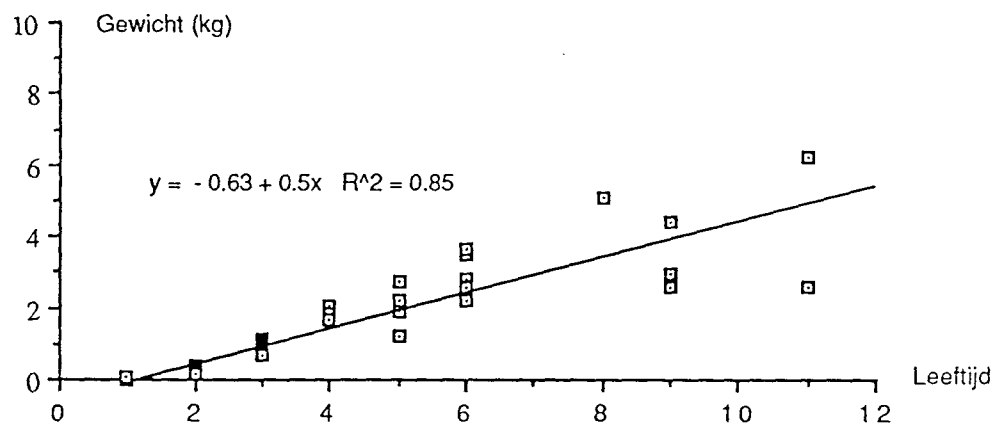


Fig. 3: Relatie van het gewicht en de leeftijd
voor snoekbaars uit het Markermeer (1987)

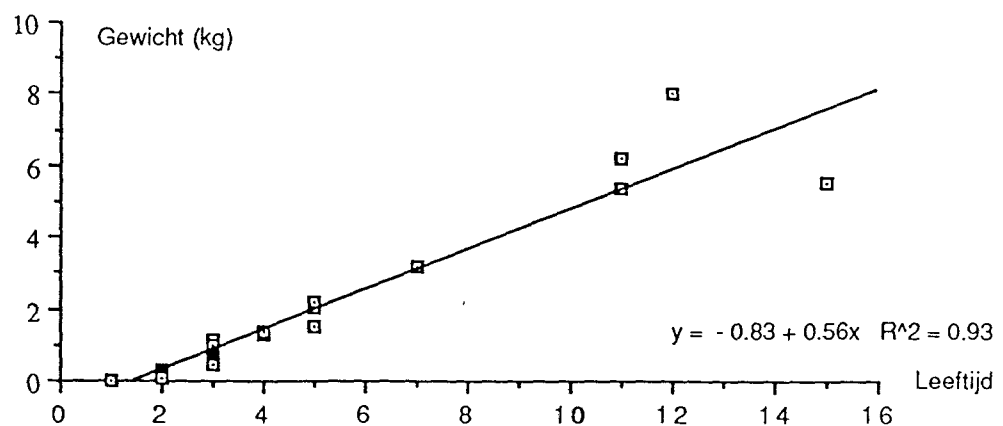


Fig. 4: Relatie van Lengte en Leeftijd voor snoekbaars uit Ketelmeer (84 - 87)

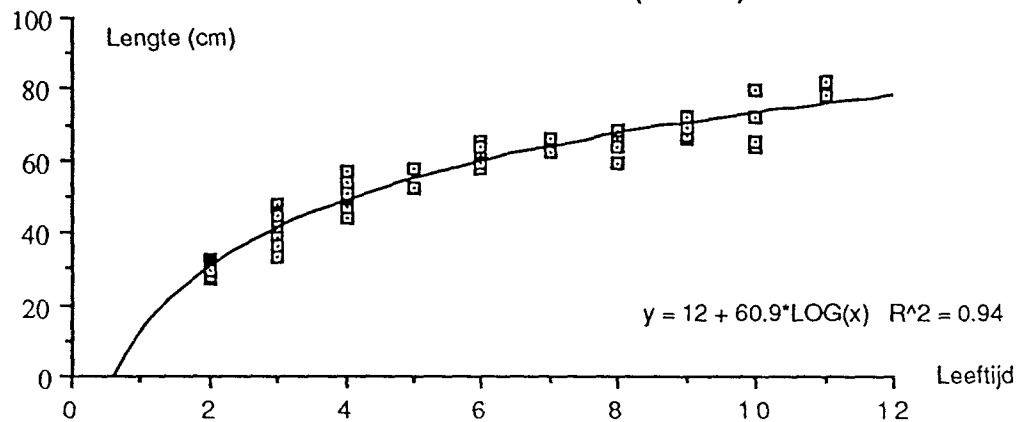


Fig. 5: Relatie van Lengte en Leeftijd voor snoekbaars uit IJsselmeer (84-87)

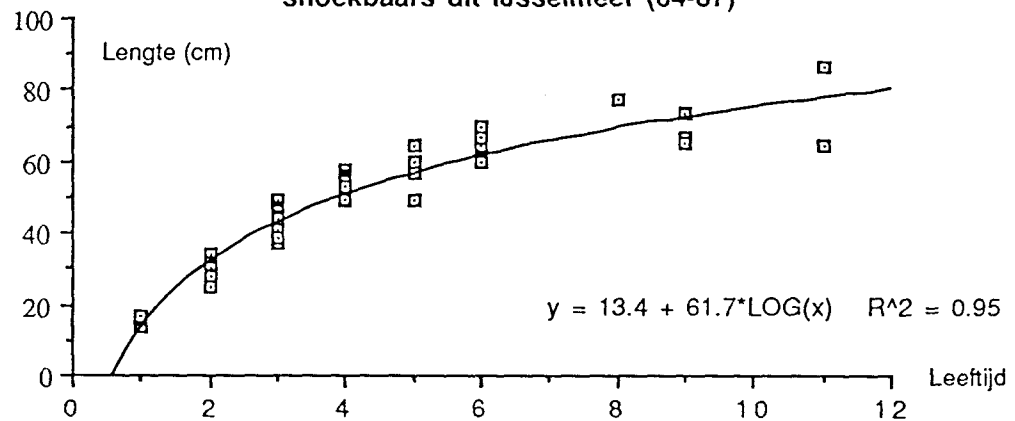


Fig. 6: Relatie van Lengte en Leeftijd voor snoekbaars uit Markermeer

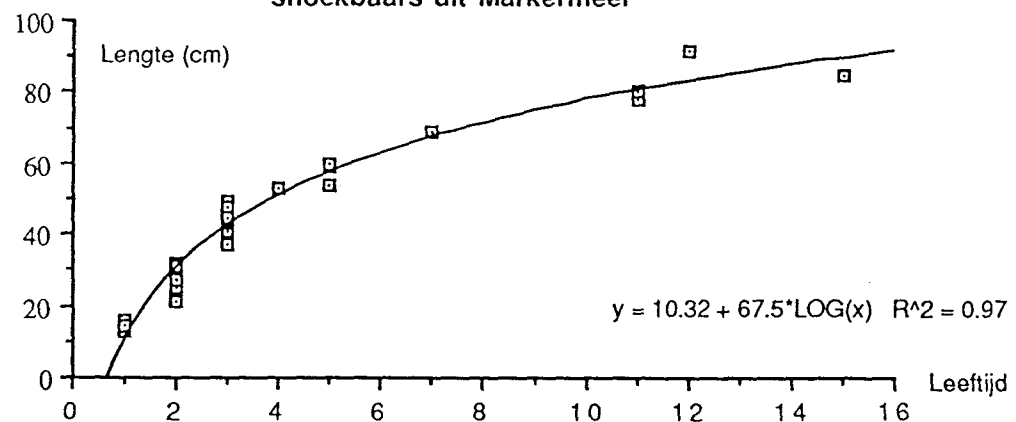


Fig. 7: Kwikaccumulatie in relatie tot de milieubelasting
Gegevens voor enkele oppervlaktewateren in 1987/88

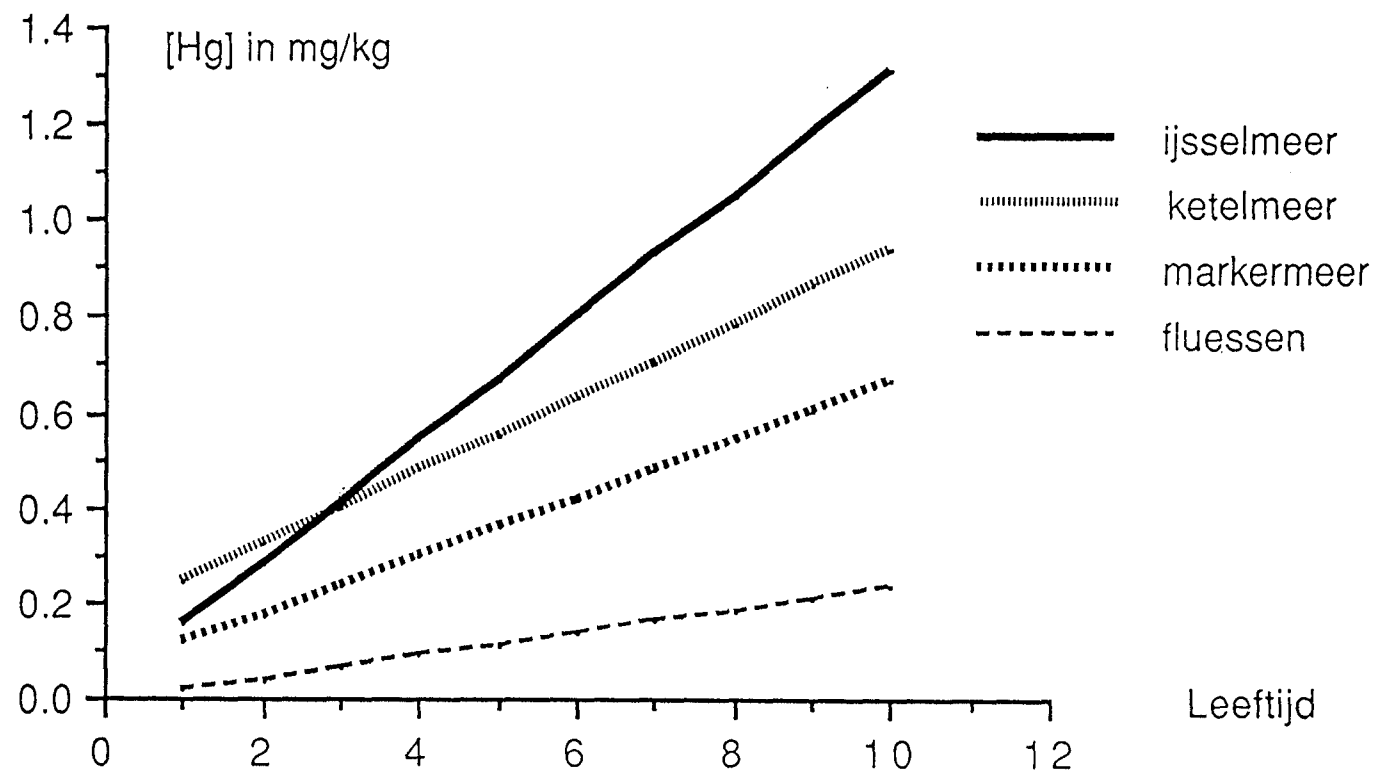


Fig. 8: De relatie van het kwikgehalte en de leeftijd voor snoekbaars uit het Markermeer voor de periode 87-88

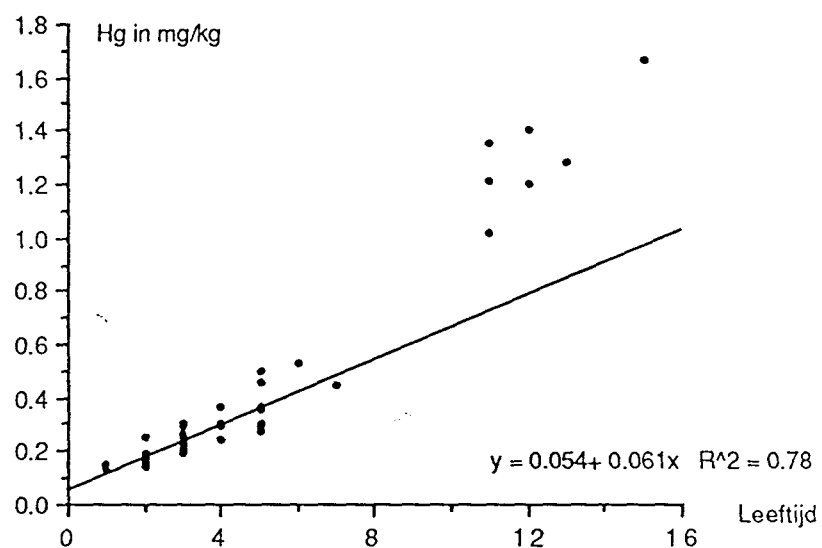


Fig. 9: De relatie van het kwikgehalte en de leeftijd voor snoekbaars uit het Ketelmeer voor de periode 87-88

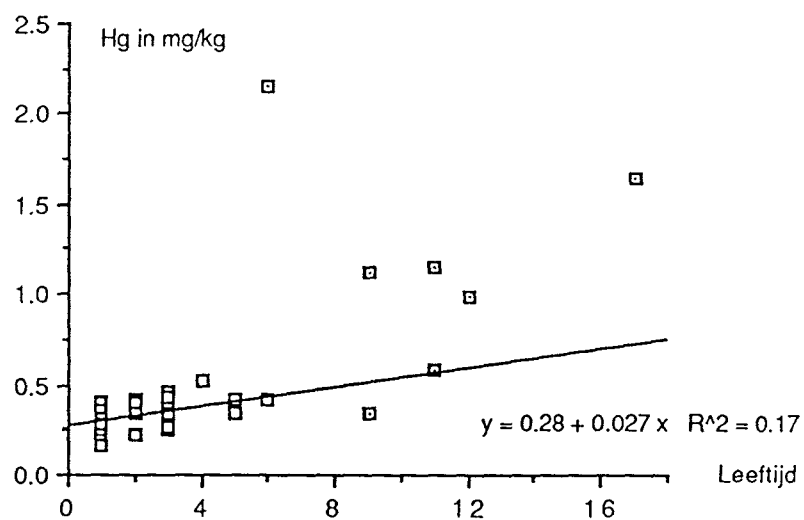


Fig. 10: Relatie van het kwikgehalte en de leeftijd voor snoekbaars uit het Ketelmeer in 1984

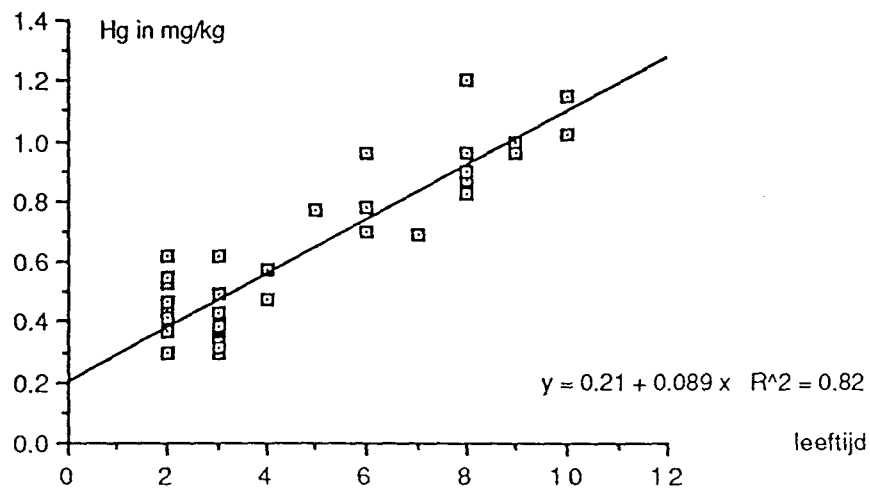


Fig. 11: Relatie van het kwikgehalte en de leeftijd voor snoekbaars uit het Ketelmeer in 1986

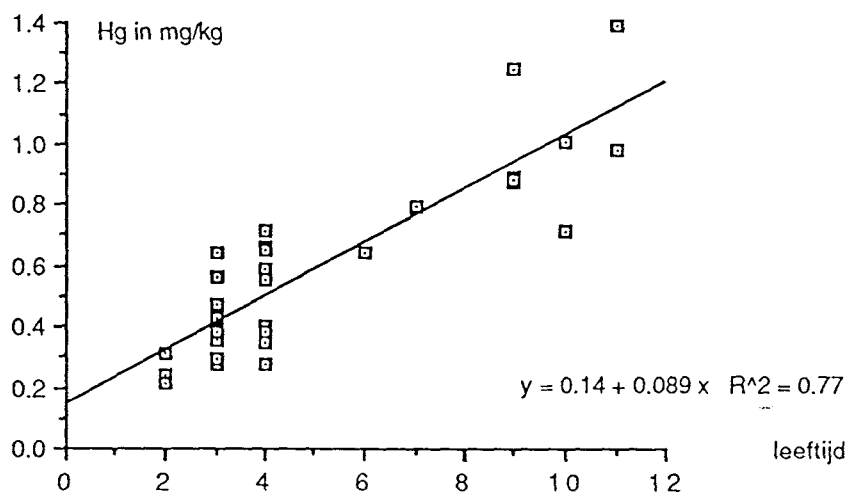


Fig. 12: Relatie van het kwikgehalte en de leeftijd voor snoekbaars uit het IJsselmeer in 87-88

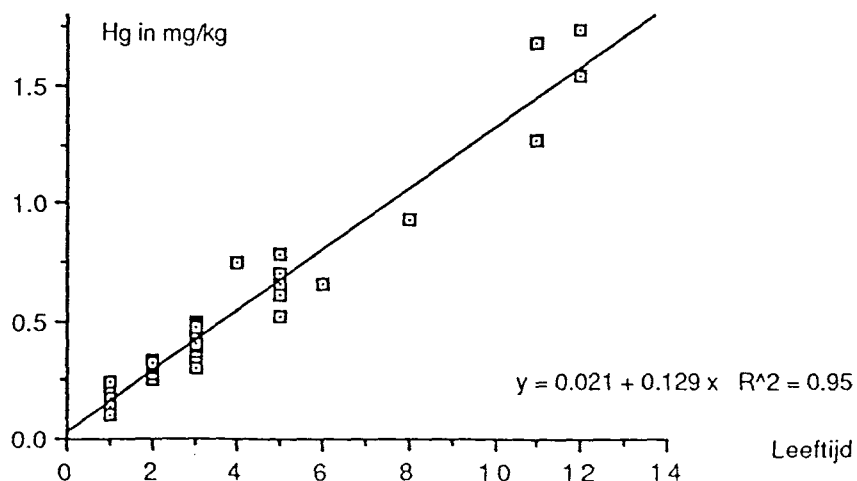


Fig. 13: De relatie van het kwikgehalte en de jaarklas voor snoekbaars uit het IJsselmeer in de periode '70 - '87, gecorrigeerd voor de invloed van biologische parameters

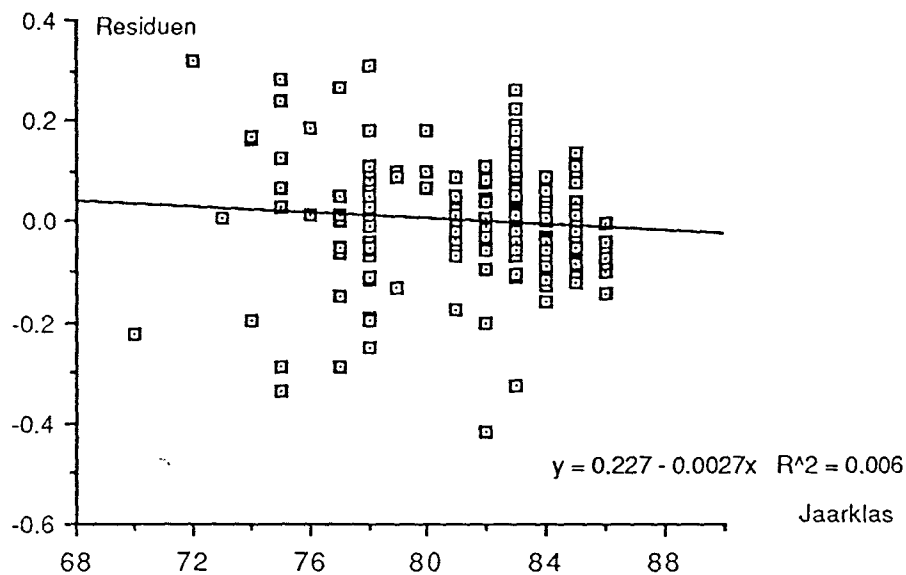


Fig. 14: De relatie van het kwikgehalte en de jaarklas voor snoekbaars uit het Ketelmeer in de periode '70 - '87, gecorrigeerd voor de invloed van biologische parameters

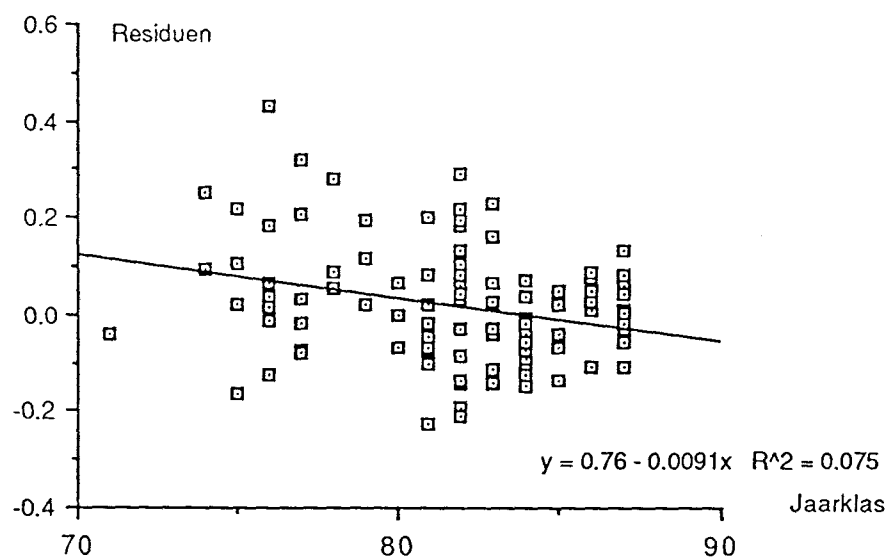


Fig. 15: De relatie van het kwikgehalte en de jaarklas voor baars uit het IJsselmeer in de periode '70 - '87, gecorrigeerd voor de invloed van biologische parameters

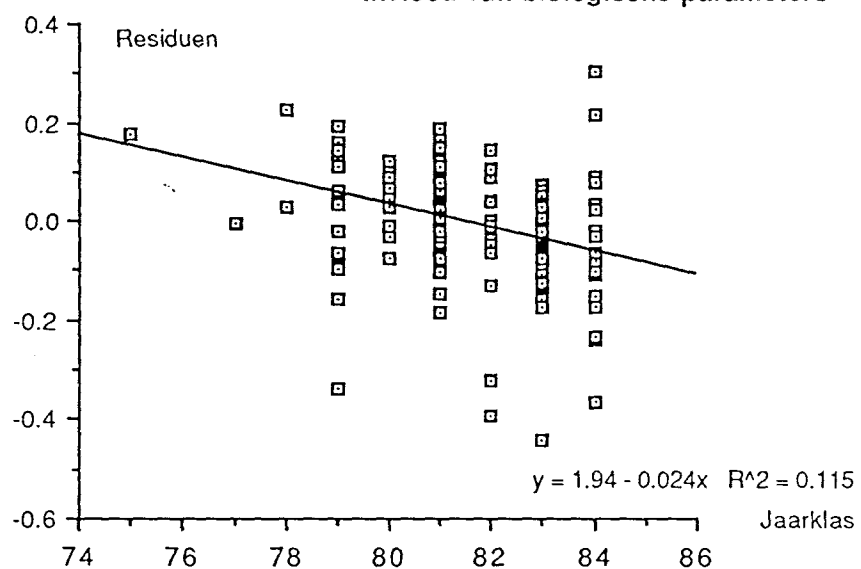


Fig. 16: De relatie van het kwikgehalte en de jaarklas van snoekbaars uit het IJsselmeer in de periode '70 - '81, gecorrigeerd voor de invloed van biologische parameters

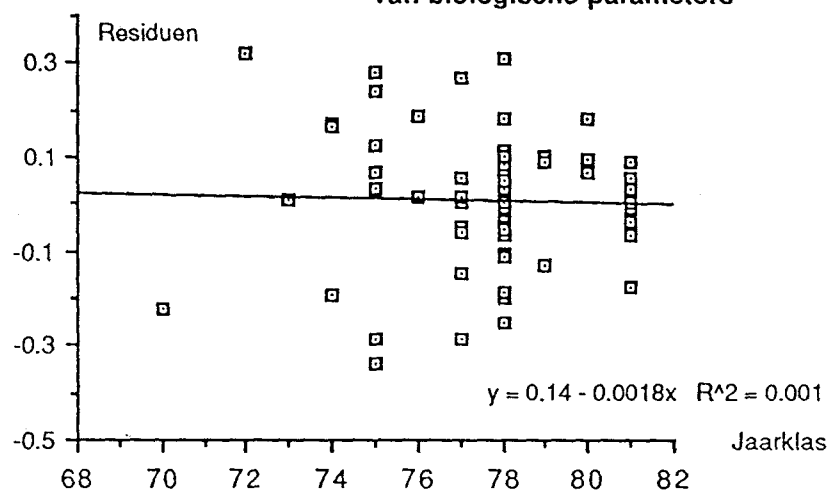


Fig. 17: De relatie van het kwikgehalte en de jaarklas voor snoekbaars uit het Ketelmeer in de periode '70 - '81, gecorrigeerd voor de invloed van biologische parameters

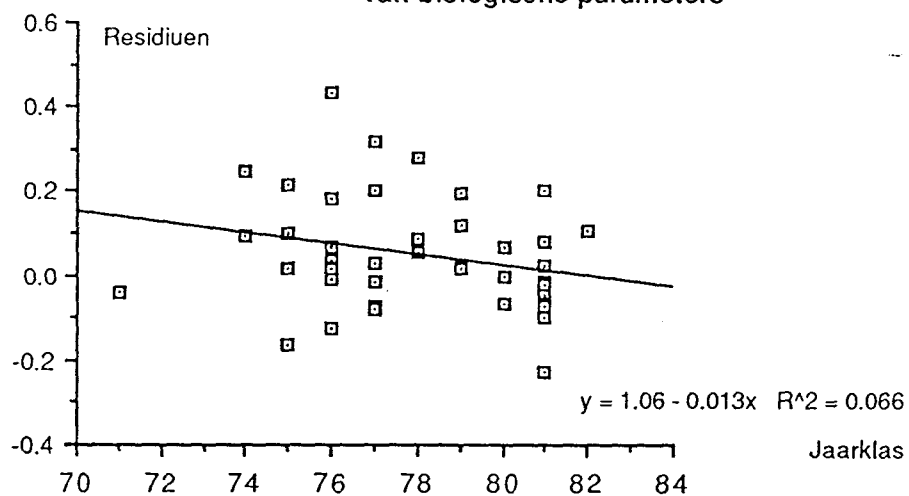


Fig. 18: De relatie van kwikgehalte en leeftijd voor snoekbaars uit het IJsselmeer voor de periode 81 - 88

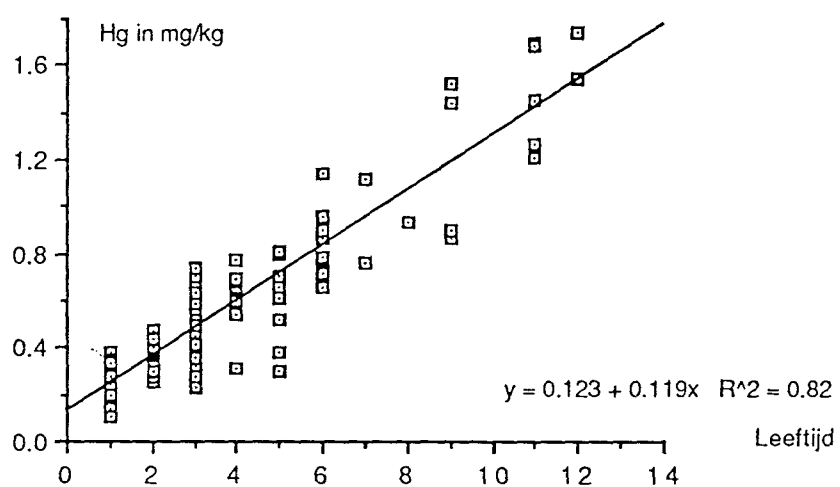


Fig. 19: De relatie van kwikgehalte en leeftijd voor baars uit het IJsselmeer voor de periode 84 - 88

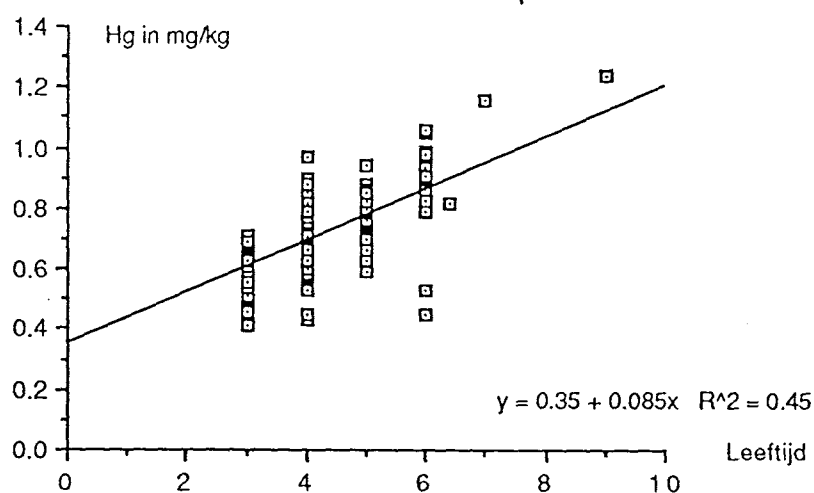


Fig. 20: Kwikgehalten in het sediment (gemiddelden) op basis van standaard slib, 50 % < 16 μ m

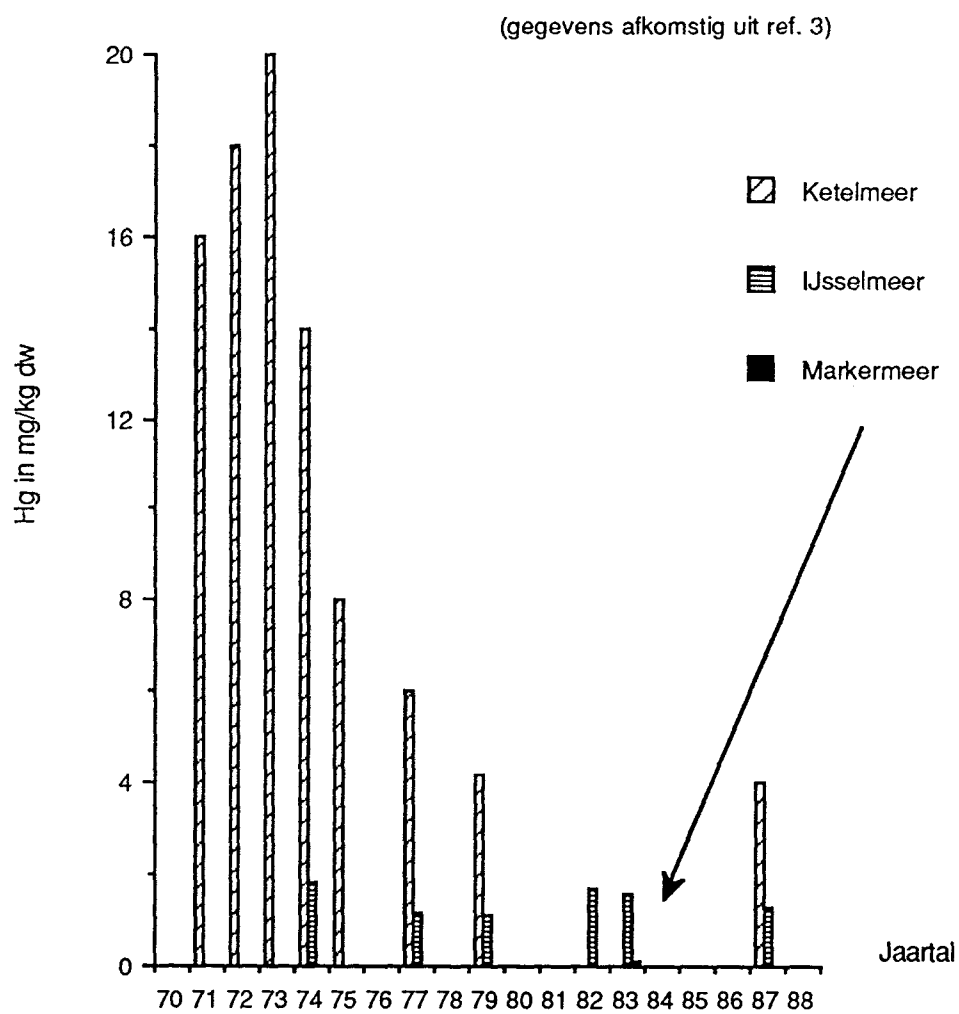


Fig. 21: Veronderstelde accumulatiecurven voor spiering in IJsselmeer, Ketelmeer en Markermeer in 1988

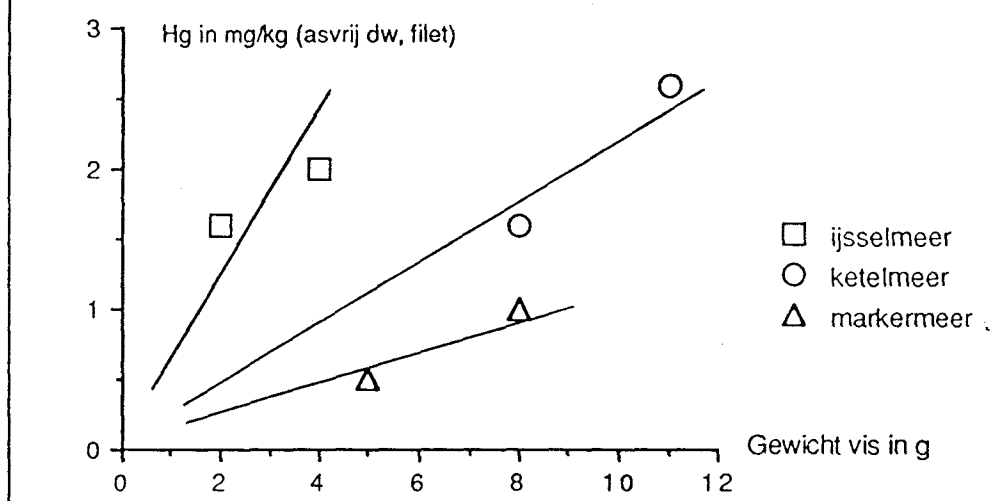


Fig. 22: Veronderstelde accumulatiecurven voor pos in IJsselmeer, Ketelmeer en Markermeer in 1988

